

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2005 年 9 月 1 日 (01.09.2005)

PCT

(10) 国際公開番号  
**WO 2005/081050 A1**

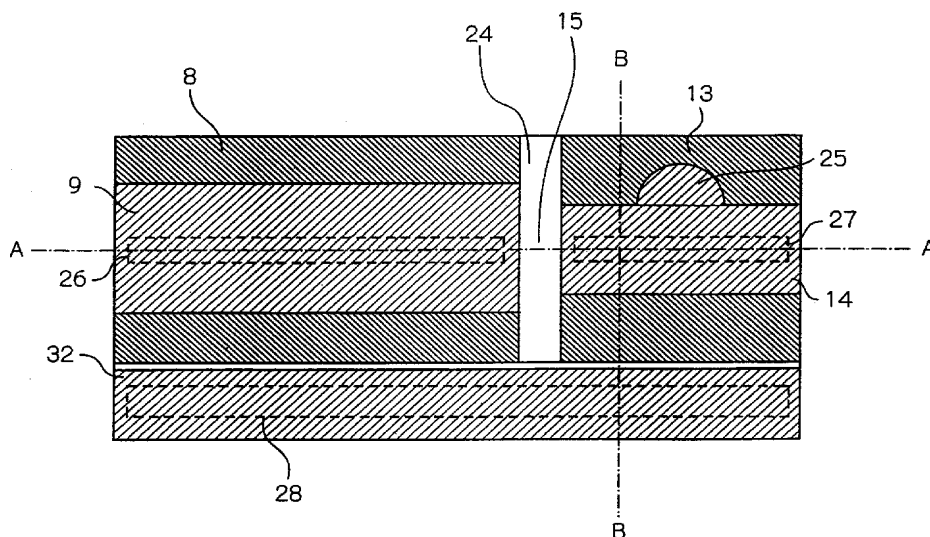
- (51) 国際特許分類: **G02F 1/017**, H01S 5/026
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2005/002318
- (22) 国際出願日: 2005 年 2 月 16 日 (16.02.2005)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願2004-044590 2004 年 2 月 20 日 (20.02.2004) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 日本電気株式会社 (NEC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1088001 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 佐藤 健二 (SATO, Kenji) [JP/JP]; 〒1088001 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP). 工藤 耕治

- (KUDO, Koji) [JP/JP]; 〒1088001 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP). 加藤 友章 (KATO, Tomoaki) [JP/JP]; 〒1088001 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP). 千田 浩明 (CHIDA, Hiroaki) [JP/JP]; 〒1088001 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 宮崎 昭夫, 外 (MIYAZAKI, Teruo et al.); 〒1070052 東京都港区赤坂 1 丁目 9 番 20 号 第 16 興和ビル 8 階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

[続葉有]

(54) Title: MODULATOR-INTEGRATED LIGHT SOURCE AND ITS MANUFACTURING METHOD

(54) 発明の名称: 変調器集積化光源およびその製造方法



(57) Abstract: A small-size modulator-integrated light source needing neither amplifier nor temperature regulating mechanism, exhibiting an extinction ratio of 10 dB or more sufficient for optical communication use, and produced at low cost. The modulator-integrated light source comprises a semiconductor laser and a modulator both integrated on a high-resistance semiconductor substrate (1). The modulator of field absorbing type has a P electrode (14) and an N electrode (32) which are disposed on one side of the high-resistance semiconductor substrate (1) and to which a predetermined bias voltage is applied. The following condition is satisfied:  $L \times B \geq 2000 \mu\text{m} \cdot \text{Gb/s}$  Where L is the length of the modulator and B is the operating frequency.

[続葉有]

WO 2005/081050 A1



(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 国際調査報告書
- 補正書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(57) 要約: 増幅器や温度調整機構が不要で、光通信用途として十分な10dB以上の消光比を得ることのできる、低コストで小型の変調器集積化光源を提供する。半導体レーザおよび変調器が高抵抗半導体基板1上に集積される変調器集積化光源であって、上記電界吸収型光変調器は、高抵抗半導体基板1の一方の面側に配置された、所定のバイアス電圧が印加されるP電極14およびN電極32を有しており、当該電界吸収型光変調器の長さをL、動作周波数をBとすると、 $L \times B \geq 2000 \mu\text{m} \cdot \text{Gb/s}$  の条件を満たすように構成されている。

## 明 細 書

### 変調器集積化光源およびその製造方法

#### 技術分野

- [0001] 本発明は、半導体レーザと電界吸収型光変調器を同一基板上に集積化した変調器集積化光源に関し、特に、光ファイバ通信において用いられる $1.3\mu\text{m}$ 帯や $1.55\mu\text{m}$ 帯において低電圧および広温度範囲で動作する変調器集積化光源に関する。

#### 背景技術

- [0002] 光ファイバ通信用光源として、分布帰還型半導体レーザ(Distributed Feedback Laser:DFB-LD)と電界吸収型変調器(Electro-Absorption Modulator:EA変調器)とを同一半導体基板上に集積化した変調器集積化光源の実用化が進展している。この変調器集積化光源は、変調時の波長変動が小さいため、主に中長距離大容量光ファイバの通信用光源として使われている。
- [0003] 変調器集積化光源では、通常、多重量子井戸(Multi Quantum Well:MQW)構造のEA変調器が用いられる。MQW構造のEA変調器では、逆バイアス電圧を印加すると、量子閉じ込めシュタルク効果(Quantum Confined Stark Effect)によりエキシトン(励起子)の吸収端が長波長側(低エネルギー側)にシフトし、その結果、分布帰還型半導体レーザからの連続発振光(CW(Continuous Wave)光)が吸収(消光)される(第1の文献(特開2003-60285号公報、第7頁、図8等)参照)。
- [0004] 図1に、従来の変調器集積化光源の標準的な構造例を模式的に示す。図1を参照すると、変調器集積化光源は、レーザ部と変調器部を同一のn-InP基板31上に形成したものである。n-InP基板31上には、導波層5およびn-InPクラッド層7が導波方向にわたって形成されており、一方の端面には高反射コート16が、他方の端面には低反射コート17がそれぞれ形成されている。n-InP基板31と導波層5の境界面の一部に、 $\lambda/4$ 位相シフト構造4を備えた回折格子3を有する。導波層5とn-InPクラッド層7の間には、導波方向に隣接して形成されたレーザ部の活性層(量子井戸)6と変調器部の活性層(量子井戸)11を有する。n-InPクラッド層7上には、キャップ層8を介してP電極9が、キャップ層13を介してP電極14がそれぞれ形成されている。キ

ャップ層8およびP電極9はレーザ部を構成するものであり、キャップ層13およびP電極14は変調部を構成するものであり、これらは電極分離部15にて分離されている。n-InP基板31の裏面には、P電極9、14と対向するN電極32が形成されている。

[0005] 上記の変調器集積化光源において、変調器部は、電界による吸収係数の変化によって生じる電界吸収効果を適用したEA変調器であり、レーザ部は分布帰還型半導体レーザである。変調器部では、P電極14とN電極32の間に逆バイアス電圧を印加すると、上記の量子閉じ込めシュタルク効果により、分布帰還型半導体レーザからのCW光が吸収(消光)される。この吸収動作を利用して光変調が行われる。

[0006] ところで、変調器集積化光源に求められる重要な性能の一つに変調速度がある。変調速度を制限する主な要因は、変調器部における活性層および電極パッドの静電容量である。そこで、例えば10Gb/s(ギガビット/秒)や40Gb/sという変調速度を実現する場合は、活性層の静電容量をできるだけ削減するために、通常は、変調器長Lを短くして変調器の面積を小さくする、といったことが行われる。具体的には、10Gb/sであれば、変調器長Lは160 $\mu$ mとされ、40Gb/sであれば、変調器長Lはその1/4である40 $\mu$ mとされる。なお、変調器長を短くした場合は、十分な消光比(ON/OFF比)を得るために、変調器に大きな電圧をかける必要があり、そのための構成としてドライバ回路が必須となる。

[0007] 第2の文献(特許2540964号公報、第5頁および図2)には、静電容量をさらに低減した集積型光変調器が記載されている。この集積型光変調器では、通常のNまたはP型の導電性基板に代えて高抵抗基板が用いられ、P電極とN電極のパッドが対向しない構造になっている。この構造によれば、電極パッド部分の静電容量を低減できるため、残留静電容量は活性層部分のみとなる。したがって、大幅に静電容量Cが削減されることになり、CR時定数によって決定される変調帯域が飛躍的に向上する。

[0008] また、変調器集積化光源に求められる性能として、変調速度と並んで重要なものに消光比がある。通常、変調器は、印加電圧が0Vのときに吸収が無く、有電界時に吸収が生じるように構成されており、良好な吸収が得られるように、変調器の吸収層(MQW)のエネルギーバンドギャップと分布帰還型半導体レーザの発振波長が設定さ

れる。分布帰還型半導体レーザ素子の発振波長を $\lambda$ 、光変調器の利得ピーク波長を $\lambda_0$ とすると、その波長差であるデチューニング量 $\Delta\lambda (= \lambda - \lambda_0)$ が、吸収特性を決定する重要なパラメータとされる。

[0009] 第1の文献1には、デチューニング量 $\Delta\lambda$ と光吸収スペクトルとの関係が開示されている。デチューニング量の設定において、動作電圧の高低と挿入損失の大小とは、トレードオフの関係にある。従来は、デチューニング量は50〜70nmに設定されており、この設定において最も消光比が高くなることが知られている。消光比が高いほど、変調電圧に対する光の変調度が高くなる。これは、低電圧駆動に向いていることを意味する。ただし、光通信用途に十分な10デシベル以上の消光比を得るためには、変調器の駆動電圧振幅を2V〜3Vとする必要があり、そのため、通常は、周辺ロジック回路の電圧振幅(1V以下)を増幅するためのドライバが必要である。

[0010] また、デチューニングを設定するにあたっては、変調器集積化光源の想定動作温度も重要である。一般に、動作温度が高くなるほど、変調器の吸収ピーク波長が分布帰還型半導体レーザの発振波長に近づく。このように動作温度が高くなるとデチューニング量が小さくなるため、通常は、常に消光比が最大となるように、ペルチェ素子等を用いて温度を一定に保つことで一定のデチューニング量を維持している。

[0011] なお、デチューニング量は、波長差(nm)とエネルギー換算値(meV)のいずれで記載してもよい。波長差からエネルギー差への変換式は、

$$\text{エネルギー(eV)} = 1.24 / \text{波長}(\mu\text{m})$$

である。この変換式によれば、消光比が最大となるデチューニング量として、例えば1.55 $\mu\text{m}$ 帯で波長差50〜70nmが設定されている場合は、そのエネルギー換算値は27〜38meVになる。

[0012] エネルギー換算値(meV)で記載した場合は、波長帯によらない普遍的な値として表すことができる。ただし、異なる波長帯においては、同じ波長差のデチューニング量(nm)であってもそれぞれのエネルギー換算値は異なる。例えば、1.55 $\mu\text{m}$ 帯において、波長差で50nmのデチューニング量はエネルギー差で27meVとなるが、1.3 $\mu\text{m}$ 帯においては、波長差で50nmのデチューニング量は、エネルギー差で38meVとなる。物理学的には、デチューニング量がエネルギー換算値で等しい場合、波長

帯によらず特性が等しくなる。以降の説明では、便宜上、デチューニング量は全てエネルギー換算値で記載する。

- [0013] また、第3の文献(ミリンド・R・ゴックホール(Milind R. Gokhale)著「Uncooled, 10Gb/s 1310 nm Electroabsorption Modulated Laser」(Optical Fiber Communication 2003)、2003年3月、ポストデッドラインペーパー、PD-42 (第1頁、図3))には、非温調動作を実現した変調器集積化光源が記載されている。この変調器集積化光源は、温度によってデチューニング量に変化しても、それに応じて光変調器のOffset電圧を変化させていくことにより、消光特性を維持するものである。ここで、Offset電圧は、変調器にかけている変調電圧信号の中心電圧であって、一般に、3デシベル分の光が変調器で吸収されときの印加電圧で規定されることが多い。この第3の文献に記載の構造によれば、特に低温側では、デチューニング量が大きくなるため、消光に必要な変調器のOffset電圧は4V以上にまで高くなる。

#### 発明の開示

- [0014] しかしながら、上述した従来の変調器集積化光源には、以下のような問題がある。
- [0015] 第1、第2の文献に記載の変調器集積化光源においては、変調器の動作電圧が高いため、その動作電圧を得るための増幅器(ドライバ)が必要となる。例えば、一般に用いられている、変調器長が $100\mu\text{m}$ 〜 $200\mu\text{m}$ 程度の変調器集積化光源(例えば10Gb/s用)においては、変調器に印加する電圧は2V以上になり、ピーク値で2V以上の電圧を作り出すことのできる増幅器が必要となる。このように増幅器を設ける必要があるため、コストや小型化の面で不利なものとなっていた。なお、変調器長を長くすることで動作電圧を低減することができるが、この場合は、変調器の活性層部の静電容量Cが大きくなるため、高速動作を行うことができなくなる。
- [0016] また、常に最大消光比を得るためには、変調器集積化光源を一定温度に保つ必要があり、そのための構成として、ペルチェ素子を搭載し、外部にその温度制御機構を付帯させる必要がある。このようなペルチェ素子等の付加は、コストや小型化の面で不利になる他、装置全体の消費電力も著しく増大することになる。
- [0017] 第3の文献に開示された変調器集積化光源においても、変調器の動作電圧が高いため、上記と同様、コストや小型化の面で不利になる。

[0018] また、半導体埋め込み構造ではなく、光を変調器吸収層に十分閉じ込めることができないリッジ構造であるため、吸収効率が低く、消光特性も悪い。通常、変調器集積化光源には10デシベル以上の消光比が求められているが、第3の文献に記載のものでは、変調器の消光比は6デシベルと低く、10デシベル以上の消光比を実現することは困難である。

[0019] 本発明の目的は、上記問題を解決し、増幅器(ドライバ)や温度調整機構が不要で、光通信用途として十分な10dB以上の消光比を得ることのできる、低コストで小型の変調器集積化光源およびその製造方法を提供することにある。

[0020] 上記目的を達成するため、本発明の変調器集積化光源は、半導体レーザおよび電界吸収型光変調器が高抵抗半導体基板上に集積されてなる変調器集積化光源であって、

前記電界吸収型光変調器は、前記高抵抗半導体基板の一方の面側に配置された、所定のバイアス電圧が印加される1対の電極を有しており、当該電界吸収型光変調器の長さをL、動作周波数をBとすると、

$$L \times B \geq 2000 \mu\text{m} \cdot \text{Gb/s}$$

の条件を満たすように構成されていることを特徴とする。

[0021] 上記のように、電界吸収型光変調器が高抵抗半導体基板上に集積され、一対の電極(P電極およびN電極)がともに同じ基板面側に位置するように構成された場合、電界吸収型光変調器の静電容量は、その活性層の静電容量のみとみなすことができるので、変調速度B(Gb/s)と変調器長L(μm)は反比例の関係になる。このような構造の場合、変調速度を高くするために、通常は、変調器長Lを短くするが、本発明では、変調器長Lを長くする、といった通常とは反対の構造をとる。具体的には、変調速度が10Gb/sの場合、従来は変調器長Lを200 μm未満に設定していたのに対して、本発明では、変調器長Lを200 μm以上に設定する。このように変調器長Lを長くすることで、変調器を通過する光をより多く吸収することができるようになるので、10dB以上の消光比を得られるとともに、増幅器(ドライバ)が不要な構成、すなわち動作電圧が1V以下の低電圧動作が可能となる。

[0022] 変調器長Lを長くすると必ず変調帯域が下がるため、上記の本発明の構造は通常

では考えられない構造である。例えば、第1、第2の文献の構造では、変調帯域向上が課題であったため、変調器長を長くすることは示唆されていない。このように、本発明は、従来からは容易に想到することのできない構造である。

[0023] 上述した本発明の変調器集積化光源において、前記電界吸収型光変調器の吸収ピーク波長が前記半導体レーザの発振波長より短く、室温において、前記発振波長と前記吸収ピーク波長の差であるデチューニング量のエネルギー換算値  $\Delta X$  が、

$$40\text{meV} \leq \Delta X \leq 100\text{meV}$$

の条件を満たすように構成してもよい。この構成によれば、以下のような作用を有する。

[0024] 従来は、室温におけるデチューニング量(meV)を27〜38meV程度に設定していたため、変調器は室温付近でしか動作しなかった。これに対して、本発明では、室温におけるデチューニング量(meV)は40meV以上とされる。具体的には、室温20℃におけるデチューニング量(meV)は、従来の30meVよりも大きな43meVに設定される。このような設定によれば、例えば85℃といった高温環境においては、デチューニング量は約30meV程度となり、変調器の動作にとって最適状態となる。一方、0℃といった低温環境においては、デチューニング量は50meVとなる。この場合は、オフセット電圧を増加させることで良好な消光を得ることができる。このように、本発明によれば、温調不要の構造を提供することが可能である。なお、低温時における、増加したバイアス電圧の値を1V以下となるように変調器長を設定すれば、上述した低電圧動作を損なうことはない。

[0025] 本発明の変調器集積化光源の製造方法は、半導体レーザおよび電界吸収型光変調器が高抵抗半導体基板上に集積されてなる変調器集積化光源の製造方法であって、

前記半導体レーザおよび電界吸収型光変調器の活性層を含む領域に第1のバンドギャップを有する活性層を成長する第1の工程と、

前記第1の工程で形成した活性層の、前記電界吸収型光変調器の活性層の領域に対応する部分を削除して前記半導体レーザの活性層とする第2の工程と、

前記第2の工程で削除された領域に、前記電界吸収型光変調器の活性層として、



前記第1のバンドギャップとは異なる第2のバンドギャップを有する活性層を成長する第3の工程を含むことを特徴とする。

[0026] 上記の製造方法によれば、半導体レーザおよび電界吸収型光変調器の活性層を別々の工程で形成することができるので、それぞれの活性層の組成、量子井戸数およびバンドギャップを最適化することができ、上述した本発明の変調器集積化光源を容易に形成することができる。

[0027] 以上のとおり、本発明によれば、消光比が10dB以上で、増幅器(ドライバ)が不要な構成を実現することができるので、従来のものに比べて、省電力化、小型化および低コスト化を図ることができる。

[0028] また、本発明によれば、動作温度の範囲(例えば、0℃から85℃)が従来のものより広く、温調制御機構が不要であるので、その分、消費電力を小さくすることができるとともに、小型化および低コスト化を図ることができる。

#### 図面の簡単な説明

[0029] [図1]従来の変調器集積化光源の標準的な構造例を示す図である。

[図2A]本発明の第1の実施形態である変調器集積化光源の上面図である。

[図2B][図2AのA-A線における断面図である。

[図2C][図2AのB-B線における断面図である。

[図3]変調速度を10Gb/sとした場合の変調器長とオフセットバイアス電圧との関係を示す図である。

[図4]分布帰還型半導体レーザの発振波長と変調器の吸収ピーク波長との波長差であるデチューニング量と無電界時における変調器の透過率との関係を示す図である。

[図5A]本発明の第2の実施形態である変調器集積化光源の上面図である。

[図5B][図5AのA-A線における断面図である。

[図6]本発明の他の実施形態である変調器集積型光源の断面図である。

#### 符号の説明

[0030] 1 高抵抗半導体基板

1a 分布帰還型レーザ部

- 1b 光変調器部
- 2 メタライズ層
- 3 回折格子
- 4  $\lambda/4$ 位相シフト構造
- 5 導波層
- 6、11 活性層(量子井戸)
- 7 n-InPクラッド層
- 8、13 キャップ層
- 9、14 P電極
- 15 電極分離部
- 16 高反射コート
- 17 低反射コート
- 18  $n^+$ -InPバッファ層
- 19 バットジョイント部
- 20、21 電流ブロック層
- 22 進行波電極
- 23 アンドープ層
- 24  $\text{SiO}_2$  膜
- 25、29、30 パッド
- 26〜28 コンタクト窓
- 31 n-InP基板
- 32 N電極

#### 発明を実施するための最良の形態

[0031] 次に、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。

[0032] (実施形態1)

図2Aは、本発明の第1の実施形態である変調器集積型光源の上面図、図2Bは、図2AのA-A線における断面図、図2Cは、図2AのB-B線における断面図である。

[0033] 図2A〜図2Cを参照すると、分布帰還型レーザ部1aと光変調器部1bが同一の高

抵抗半導体基板1上に形成されている。高抵抗半導体基板1は、例えば高抵抗InP基板、より具体的には鉄(Fe)をドーパントしたInP基板である。高抵抗半導体基板1上に導波層(光ガイド層)5、 $n^+$ -InPバッファ層18、量子井戸よりなる活性層部、 $n$ -InPクラッド層7の積層構造が導波方向にわたって形成されており、その両端に劈開面を有する。一方の劈開面に高反射コート16が、他方の劈開面には低反射コート17がそれぞれ形成されている。

[0034] 高抵抗半導体基板1と導波層5の境界面の一部に、 $\lambda/4$ 位相シフト構造4を備えた回折格子3を有する。 $\lambda/4$ 位相シフト構造4は、位相シフト位置が対称のものであっても、非対称のものであってもよい。また、このような $\lambda/4$ 位相シフト構造4を設けない構造としてもよい。

[0035] 活性層部は、分布帰還型レーザ部1aの活性層(量子井戸)6と光変調器部1bの活性層(量子井戸)11とからなる。活性層6は回折格子3上に位置する。これら活性層6、11はいずれも周知の多重量子井戸構造のものであるが、バンドギャップの大きさが異なる。ここでは、活性層11の量子井戸のバンドギャップが、活性層6の量子井戸のバンドギャップよりも大きくなるように形成されている。

[0036]  $n$ -InPクラッド層7上の分布帰還型レーザ部1aの領域にキャップ層8が、光変調器部1bの領域にキャップ層13がそれぞれ形成されている。これらキャップ層8、13は $\text{SiO}_2$ 膜24で覆われている。キャップ層8上の $\text{SiO}_2$ 膜24の領域の中央付近にはコンタクト窓26が形成されており、このコンタクト窓26を覆うようにP電極9が形成されている。これと同様に、キャップ層13上の $\text{SiO}_2$ 膜24の領域の中央付近にはコンタクト窓27が形成されており、このコンタクト窓27を覆うようにP電極14が形成されている。P電極9とP電極14は電極分離部15にて分離されている。P電極14の一部には、光変調器電極ワイヤ用のパッド25が形成されている。

[0037]  $n^+$ -InPバッファ層18上に形成された、活性層6、11、 $n$ -InPクラッド層7、およびキャップ層8、13の部分は、メサ形状になっている。メサ部の、活性層6、11の両側部に位置する部分には、電流ブロック構造20、21を有する。メサ部の端部は $\text{SiO}_2$ 膜24で覆われている。 $n^+$ -InPバッファ層18上の $\text{SiO}_2$ 膜24の領域の中央付近にはコンタクト窓28が形成されており、コンタクト窓28を覆うようにN電極32が形成されている。N電

極32とP電極9およびP電極14とは、ともに同じ素子面上に形成されており、対向しない配置とされている。n-InP基板31の裏面には、P電極9、14およびN電極32と対向するメタライズ層2が形成されている。

[0038] 本実施形態の変調器集積型光源においては、P電極14とN電極32が同じ素子面側に位置し、かつ、基板として高抵抗半導体基板1を用いる。この構成によれば、変調器の静電容量は、活性層11の静電容量のみとみなすことができるため、変調速度 $B(\text{Gb/s})$ と変調器長 $L(\mu\text{m})$ は反比例の関係になる。このような構造の場合、変調速度を高くするためには、通常は、変調器長を短くすることになるが、本実施形態では、変調器を通過する光をより多く吸収することができるように変調器長 $L$ を長くするといった、通常とは反対の技術思想に基づく構造を採用することで、増幅器(ドライバ)が不要な構成、すなわち動作電圧が1V以下の低電圧動作が可能な構成を実現している。ここで、変調器長 $L$ とは、活性層11の、分布帰還型レーザ部1aからの発振光を実質的に吸収する領域の導波方向における長さをいう。

[0039] 図3に、変調速度を $10\text{Gb/s}$ とした場合の変調器長とオフセットバイアス電圧(以下、単にオフセット電圧という)との関係を示す。図3中、横軸は変調器長 $(\mu\text{m})$ 、縦軸はオフセット電圧(V)である。曲線aが、本実施形態の変調器集積型光源に関するものであり、曲線bが、高抵抗基板を用いていない従来のものに関するものである。

[0040] 曲線bでは、変調器長を長くしても、オフセット電圧は1V以下になることはない。これに対して、曲線aでは、変調器長が $200\mu\text{m}$ 以上で、オフセット電圧は1V以下となる。すなわち、変調器長を $200\mu\text{m}$ 以上とすれば、1V以下の低電圧動作が可能となり、増幅器(ドライバ)が不要な構成を実現することができる。本実施形態では、この知見に基づき、変調器長を $200\mu\text{m}$ 以上にすることで低電圧動作を実現する。具体的には、変調器長 $L$ と変調周波数 $B$ との関係が反比例にあることを考慮して、

$$L \times B \geq 2000 \mu\text{m} \cdot \text{Gb/s} \quad (\text{式1})$$

の条件を満たすように変調器を構成する。この構成によれば、オフセット電圧は必ず1V以下になるので、増幅器は不要である。

[0041] 上記式1において、増幅器を不要とする構成を実現するという観点から、下限値が重要な意味を持つ。なお、「 $L \times B$ 」の上限値は、特に限定するものではなく、製造手

法や設計上の条件によって適宜決定される。例えば、変調器長 $L$ が長くなりすぎると静電容量 $C$ が増大することから、 $CR$ リミットから「 $L \times B$ 」の上限値を決定するようにしてもよい。例えば、変調周波数 $B$ が $2.5 \text{ Gb/s}$ 、素子抵抗 $R$ が $2 \Omega$ （オーム）、変調器長 $L$ が $2000 \mu\text{m}$ 、アンドープ層の厚さが $0.2 \mu\text{m}$ である場合、 $CR$ 時定数は $2.5$ （ピコ秒）となる。余裕度を高めるために、その $CR$ 時定数の $10$ 倍の時間が $1$ ビットのパルスに必要であるとする、 $25$ ピコ秒、すなわち $40 \text{ Gb/s}$ が $CR$ リミットとされる。この $CR$ リミットから、上記式1において、「 $L \times B$ 」の上限として「 $2000 \mu\text{m} \times 40 \text{ Gb/s}$ 」の上限が存在することが分かる。よって、この上限を考慮すると、

$$2000 \mu\text{m} \cdot \text{Gb/s} \leq L \times B \leq 80000 \mu\text{m} \cdot \text{Gb/s} \quad (\text{式2})$$

の条件を満たすように構成することがより望ましい。

- [0042] なお、変調器長を $200 \mu\text{m}$ 以上とする場合、変調器長が長くなることによる静電容量の増大、すなわち帯域劣化を生じるが、本実施形態では、高抵抗半導体基板を用いることでそのような帯域劣化を抑制する構造となっている。
- [0043] また、変調器を長くした場合、変調器の動作のための電圧振幅も図3に示したオフセット電圧の減少傾向と同様な傾向を示すことになる。オフセット電圧は、通常、光を $1/2$ の強度に減少させることのできる電圧とされる。これは、光をデジタル変調（オン／オフ変調）する際に、通常は電気信号に対して変調器の応答が遅れるために、デジタルのオン、オフの信号が少しなめらかに追従することによる。変調器からの出力の信号波形は、 $1/2$ 強度の値となる電圧を中心として、オン、オフの側に振幅されることから、その中心電圧がオフセット電圧である。変調動作のための電圧振幅は、例えば光をオフにするには $1/10$ や $1/20$ の強度にまで消光（オフ）するのに必要な電圧により定義される。ここで、変調器長を長くしてオフセット電圧を低減すると、同様に、光をオフにする電圧も低減されることになる。したがって、その減少傾向は、図3のオフセット電圧と同様に変調器長に対して減少傾向になる。
- [0044] 上述した低電圧動作に加えて、本実施形態の変調器集積型光源は、動作温度の範囲が広く、温調制御機構が不要な構成となっている。以下に、その具体的な構成について説明する。
- [0045] 動作温度が低くなると、変調器の吸収ピーク波長が分布帰還型半導体レーザの発

振波長よりも短波長側に大きくシフトして消光比を劣化させることになる。この場合、良好な消光を得るためには、大きなバイアス電圧を印加する必要がある。一方、動作温度が高くなると、変調器の吸収ピーク波長が分布帰還型半導体レーザの発振波長に近づくこととなり、無電界時の変調器部の吸収が大きくなって消光比を劣化させることになる。このようなデチューニングの温度特性を考慮して、本実施形態では、低温時において、大きなバイアス電圧を必要としないように、変調器長が上述した式1したがって予め設定されるとともに、高温時において、変調器部の吸収が大きくならないように、室温時におけるデチューニング量(エネルギー換算値)が予め設定されている。

[0046] 図4に、分布帰還型半導体レーザの発振波長と変調器の吸収ピーク波長との波長差であるデチューニング量(エネルギー換算値)と無電界時における変調器の透過率との関係を示す。図4において、横軸はデチューニング量(meV)であり、縦軸は変調器の透過率(%)である。矢印Aで示された範囲が、従来のものにおけるデチューニング量の設定範囲で、矢印Bで示された範囲が、本実施形態のものにおけるデチューニング量の設定範囲である。

[0047] 従来例のものにおいては、室温におけるデチューニング量(meV)は、27〜38meV程度に設定されるため、変調器は室温付近でしか動作しなかった。これに対して、本実施形態のものでは、室温におけるデチューニング量(meV)は40meV以上とされている。具体的には、室温20℃におけるデチューニング量を、従来の30meVよりも大きな43meVに設定している。この場合、デチューニングの温度特性から、例えば85℃といった高温環境においては、デチューニング量は約30meV程度となる。このデチューニング量が30meV程度の状態は、変調器の動作にとっては最適な状態である。一方、0℃といった低温環境においては、デチューニング量は50meVとなる。この場合は、オフセット電圧を増加させることで良好な消光を得ることができる。この低温時における、増加したバイアス電圧の値が1V以下となるように変調器長を設定すれば、上述した低電圧動作を損なうことはない。

[0048] なお、室温におけるデチューニング量の上限は、半導体材料のQCSEシフトが発生する限界によって決まる。具体的には、その限界はデチューニングのエネルギー

換算値で100meVである。よって、本実施形態では、分布帰還型レーザ部1aの発振波長と光変調器部1bの吸収ピーク波長との波長差であるデチューニング量のエネルギー換算値 $\Delta X$ が、

$$40\text{meV} \leq \Delta X \leq 100\text{meV} \quad (\text{式3})$$

の条件を満たすように設定されている。

[0049] 以上のように、本実施形態のものによれば、式1(または式2)および式3の条件をそれぞれ満たすことで、上述した低電圧動作に加えて、変調器の温度を一定に保つための温度制御機構を必要としない非温調動作を実現することができる。想定最低動作温度を例えば0℃以下とすることができ、また、想定最高動作温度を例えば50℃以上とすることができ、なお、室温におけるデチューニング量が、変調器の動作によって最適な状態となる30meV程度に設定される従来のものにおいては、室温より高い温度では良好な消光を得られないため、温度制御機構が必要となる。

[0050] 次に、図2A～図2Cに示した変調器集積型光源の製造手順を簡単に説明する。

[0051] まず、干渉露光法や電子ビーム露光法等を用いた周知のフォトリソグラフィ法により、 $\lambda/4$ 位相シフト構造4を含む回折格子3を高抵抗半導体基板1上に形成する。この回折格子3を形成する領域は、分布帰還型レーザとして動作する領域のみである。

[0052] 次いで、全面に、InGaAsPよりなる導波層5および $n^+$ -InPバッファ層18を順次成膜した後、その上に、InGaAsP/InGaAsP量子井戸よりなる活性層6およびInGaAsP/InGaAsP量子井戸よりなる活性層11を形成する。ここで、InGaAsPに代えてInGaAlAsを用いることもできる。これら活性層6、11は、周知の選択成長法により、互いのバンドギャップの大きさが異なるように同時に形成する。選択成長法によれば、 $\text{SiO}_2$ マスクを用いて成長減量の到達量を調整することにより、基板面内で異なる量の原料供給を可能とし、異なる厚さの量子井戸を形成することができる。これにより、量子井戸のバンドギャップ波長を、基板面内で制御することできるので、分布帰還型レーザ部1aと変調器部1bで異なるバンドギャップ波長となるように活性層を形成することができる。活性層6、11は、その電気伝導特性がアンドープ(高抵抗)となるように形成する。

- [0053] 次いで、電流ブロック層20、21を成長した後、全面に、P-InPクラッド層7およびP-InGaAsよりなるキャップ層8、13を順次成長する。その後、周知のウェットエッチング法またはドライエッチング法により、活性層6、11の近傍をエッチングし、 $n^+$ -InPバッファ層18の一部を露出させる。
- [0054] 次いで、全面に $\text{SiO}_2$ 膜24を堆積させ、コンタクト窓26-28をエッチングにより形成する。そして、P電極9、14、n電極32を形成する。このとき、パッド25も同時に形成する。
- [0055] 最後に、高抵抗半導体基板1の裏面を研磨して素子の厚さを $100\ \mu\text{m}$ 程度とした後、研磨した面に金属を蒸着することでメタライズ層2を形成する。
- [0056] 上記の製造工程では、活性層6、11を選択成長法により形成したが、本発明はこれに限定されるものではない。活性層6、11は、バットジョイント法で形成することもできる。バットジョイント法では、まず、全面(活性層6、11の領域を含む)に第1のバンドギャップを有する活性層を成長する。その後、周知のウェットエッチング法またはドライエッチング法により、活性層11の領域の部分を削除して活性層6を得る。次に、その削除した部分にのみ、第1のバンドギャップとは異なる第2のバンドギャップを有する活性層を成長して活性層11を得る。このバットジョイント法によれば、活性層6、11をそれぞれ異なる工程で形成することができるので、各活性層6、11の組成、量子井戸数およびバンドギャップをそれぞれ独立に設定することができ、容易に最適化を行うことができる。
- [0057] 上記のバットジョイント法を用いることにより、分布帰還型レーザ部1aと変調器部1bの活性層構造を独立に制御可能となるため、変調器の量子井戸にタイプIIの構造を適用することができる。タイプIIの構造について以下に簡単に説明する。
- [0058] 量子井戸の構造としてタイプI、IIの2つの構造が知られている。タイプIの量子井戸は、井戸の導電帯のエネルギーレベルが、バリアの導電帯のエネルギーレベルよりも高く、かつ、井戸の価電子帯のエネルギーレベルが、バリアの価電子帯のエネルギーレベルよりも低い構造のものをいい、通常は、電子、正孔がともに井戸内に閉じ込められている。一方、タイプIIの量子井戸は、導電帯のエネルギーレベルの関係はタイプIの構造と同じであるが、井戸の価電子帯のエネルギーレベルが、バリアの価電



子帯のエネルギーレベルよりも高い。

[0059] タイプIIの量子井戸では、正孔は井戸内に閉じ込められるが、電子は井戸内に閉じ込められることはないために、通常は、量子井戸は光を吸収できない構造となっている。タイプIIの量子井戸に逆バイアス電圧を印加すると、エネルギー準位が傾いて、バリアに閉じ込められている電子が作用することで、光を吸収できるようになる。このタイプIIの量子井戸の、逆バイアス電圧を印加する前と印加した後における光の消光比(オン/オフ比)は、タイプIの量子井戸のもより大きい。したがって、変調器の活性層にこのタイプIIの量子井戸の構造を適用することで、より大きな消光比を得ることができる。

[0060] タイプIIの量子井戸は、井戸の組成を価電子帯のエネルギーレベルが高くなるような組成を用いることで容易に形成することができる。タイプIIの量子井戸として、例えば、特許3001365号に記載されているような、InAlAsよりなる井戸にInPバリアを含むタイプIIの量子井戸を用いることができる。

[0061] (実施形態2)

第1の実施形態の変調器集積型光源において、光変調器の電極を進行波電極構造とすることもできる。ここでは、そのような進行波電極構造を有する変調器集積型光源について説明する。

[0062] 図5Aは、本発明の第2の実施形態である変調器集積型光源の上面図、図5Bは、図5AのA-A線における断面図である。図5Aおよび図5Bにおいて、図2A～図2Cに示したものと同一のものには同じ符号を付してある。ここでは、説明の重複を避けるために、特徴部についてのみ説明する。

[0063] 本実施形態の変調器集積型光源は、図2A～図2Cに示した変調器集積型光源において、変調器部1bのP電極14を進行波電極22で置き換え、さらに、活性層6、11上にアンドープInP層23を設けた構成になっている。本実施形態においても、前述した式1(または式2)および式3の条件をそれぞれ満たすことで、増幅器および温度制御機構を必要としない構成とされている。

[0064] 進行波電極22は、供給される変調電気信号が、電極分離部15側の第1の端部からその反対の側に位置する第2の端部に向かって進行するような電極構造になって

いる。進行波電極22の第1の端部側には、進行波電極ワイヤ用のパッド29が、第2の端部側には、進行波電極ワイヤ用のパッド30がそれぞれ形成されている。この電極構造によれば、変調電気信号が光の進行方向と同じ方向に進むことになるために、活性層11の容量に依存せずに、変調器信号を光に対してより有効に作用させることができ、変調効率を向上させることができる。

[0065] アンドープInP層23は、活性層6上の領域においては、その膜厚が同じになるように形成されており、活性層11上の領域、すなわち進行波電極22の下に位置する領域においては、その膜厚が低反射コート17側にいくにしたがって徐々に薄くなるように形成されている。

[0066] 変調器において、n型半導体とp型半導体に挟まれたアンドープInP層23の厚さは、変調器の特性に大きく影響する。通常、変調器は、p-nダイオードに逆バイアス電圧を印加することにより消光するようになっている。逆バイアス電圧によって、アンドープ（高抵抗）である変調器部の活性層に電界がかかるが、その電界が大きいほど、より多く消光することができる。進行波電極22は、理想的には、変調のための電磁波が電極を進行するにつれて電界強度は変化せずに進むと考えられるが、現実には、進行波電極22とそれまでの伝送線路との間にインピーダンス不整合が生じているために、変調電磁波が進行電極を進むにつれて、変調電磁波の電界強度は減衰してしまふ。このために、変調器の前半部よりも後半部の方が、消光特性の劣化が大きい。この後半部における消光特性の劣化を低減するためには、電磁波の電圧が減少しても、変調器部の活性層にかかる電界強度が減衰しないようにする必要がある。

[0067] 電磁波の電圧とアンドープInP層23の総厚の関係は、

$$E=V/d \quad (\text{式4})$$

で与えられる。ここで、EはアンドープInP層23にかかる電界、Vは電磁波の電圧、dはアンドープInP層23の厚さである。式4によれば、電圧Vが減少しても、厚さdを薄くすることで、電界Eを一定に保つことが可能となる。進行波電極22とそれまでの伝送線路との間にインピーダンス不整合が生じている場合は、電気信号が進行波電極22を進行するにつれて電圧が減衰するが、活性層にかかる電界が減衰しないことから、本実施形態では、アンドープInP層23の厚さを進行方向に対して薄くすることにより

、電界を一定に保ち、消光特性を増大させるようになっている。

[0068] 本実施形態の変調器集積型光源によれば、光変調器の電極を進行波電極としてるので、変調器の吸収層MQWの静電容量を理想的にはほとんど取り除くことができ、動作変調帯域が上昇するという相乗的な効果を奏する。進行波電極22としては、例えば、特許2996287号に記載されているような進行波型電極を用いることができる。

[0069] また、本実施形態においては、図5Bに示したように、変調器部におけるアンドープInP層23の厚さを、発振光の進行方向に対して徐々に薄くするようになっている。これにより、進行するに従って減少する電圧を補償することができ、変調器の消光特性の劣化を防止する効果を奏する。なお、変調器部におけるアンドープInP層23の厚さを変化させる構造は、p型ドーパントである亜鉛の拡散量を、導波路方向において調節することにより実現することができる。

[0070] 以上説明した各実施形態の変調器集積型光源において、その構成は、発明の趣旨を逸脱しない範囲で適宜変更することができる。例えば、高抵抗半導体基板上に集積される分布帰還型レーザは、他の半導体レーザであってもよい。

[0071] また、素子の信頼性向上および変調器部の動作電圧をより低減するために、前述の第3の文献に記載されているようなリッジ導波路構造ではなく、半導体または誘電体を用いた埋め込み構造で活性層を形成してもよい。加えて、埋め込み構造をアンドープ層（高抵抗層）としてもよい。このような埋め込み構造は、選択成長法により実現することができる。

[0072] さらに、変調器の活性層に温度特性の良いアルミニウム系材料を用いてもよい。通常、半導体レーザおよび変調器には、InGaAsP系材料が用いられる。これは、バリアの価電子帯のエネルギー準位と井戸の価電子帯のエネルギー準位のエネルギー差 $\Delta E_c$ が、小さい材料であるため、高温環境での動作時に、電子が井戸からオーバーフローし、光出力が低下することとなる。これを防止するため、例えばInGaAlAsやInAlAsなどのAl系材料を用いると、 $\Delta E_c$ がInGaAsP系のものに比べて2倍程度に改善されて、電子の井戸からのオーバーフローを抑制することができる。この結果、高温環境での動作時における光出力低下を抑制することができる。このように、アル

ミニウム系材料を用いることで、分布帰還型半導体レーザの温度特性を向上させるといふ相乗的な効果を奏し、動作温度をより高温にすることが可能となる。

[0073] また、電流ブロック層の残留静電容量を低減するために、電流ブロック層を高抵抗埋め込み層により形成してもよい。この場合は、活性層を流れずにその周辺部を流れる電流の割合を低減することできるので、高温環境での動作時における半導体レーザの光出力の低下を抑制することができる。高抵抗埋め込み層としては、例えば特開2000-353848号公報に記載されているような、高抵抗InP層とn型InP層をMOCVD(metal organic chemical vapor deposition)法により連続して埋め込み成長させた高抵抗埋め込み層を用いることができる。

[0074] また、図6に示すように、光変調器部1bの活性層11と低反射コート17とが接触しないように、それらの間に窓構造33を設けてもよい。この構造によれば、活性層11の端部から出射した光は窓構造33において拡散することになるので、低反射コート17にて反射されて活性層11内に再び戻る光の量を大幅に低減することができる。なお、図6に示した窓構造は、第1の実施形態の構造に適用した例であるが、第2の実施形態の構造にも適用することができる。

#### 産業上の利用可能性

[0075] 本発明は、幹線系、アクセス系などに使用される中長距離光源や、データコム系、エンドユーザ端末に使用される変調器集積化光源に適用することができる。

## 請求の範囲

- [1] 半導体レーザおよび電界吸収型光変調器が高抵抗半導体基板上に集積されてなる変調器集積化光源であって、  
前記電界吸収型光変調器は、前記高抵抗半導体基板の一方の面側に配置された、所定のバイアス電圧が印加される1対の電極を有しており、当該電界吸収型光変調器の長さをL、動作周波数をBとすると、  
$$L \times B \geq 2000 \mu\text{m} \cdot \text{Gb/s}$$
  
の条件を満たすように構成されている変調器集積化光源。
- [2] 前記電界吸収型光変調器の吸収ピーク波長が前記半導体レーザの発振波長より短く、室温において、前記発振波長と前記吸収ピーク波長の差であるデチューニング量のエネルギー換算値  $\Delta X$  が、  
$$40\text{meV} \leq \Delta X \leq 100\text{meV}$$
  
の条件を満たすように構成されている、請求項1に記載の変調器集積化光源。
- [3] 最低動作温度において印加される前記所定のバイアス電圧が1V以下である、請求項2に記載の変調器集積化光源。
- [4] 前記1対の電極がP型電極とN型電極であり、前記P型電極が進行波電極である、請求項1または2に記載の変調器集積化光源。
- [5] 前記電界吸収型光変調器の活性層はアンドープ層を有し、該アンドープ層の厚さが、前記半導体レーザからの発振光の進行方向に向かって徐々に薄くなっている、請求項4に記載の変調器集積化光源。
- [6] 前記半導体レーザおよび電界吸収型光変調器の活性層が、半導体または誘電体による埋め込み層よりなる、請求項1または2に記載の変調器集積化光源。
- [7] 前記埋め込み層がアンドープ層である、請求項6に記載の変調器集積化光源。
- [8] 前記半導体レーザの活性層の量子井戸と前記電界吸収型光変調器の活性層の量子井戸がバットジョイント結合されている、請求項1または2に記載の変調器集積化光源。
- [9] 前記電界吸収型光変調器の量子井戸は、井戸の導電帯のエネルギーレベルがバリアの導電帯のエネルギーレベルよりも高く、かつ、井戸の価電子帯のエネルギーレ

ベルがバリアの価電子帯のエネルギーレベルよりも高い構造である、請求項8に記載の変調器集積化光源。

[10] 前記電界吸収型光変調器の活性層の組成にアルミニウムを含む、請求項1または2に記載の変調器集積化光源。

[11] 半導体レーザおよび電界吸収型光変調器が高抵抗半導体基板上に集積されてなる変調器集積化光源の製造方法であって、

前記半導体レーザおよび電界吸収型光変調器の活性層を含む領域に第1のバンドギャップを有する活性層を成長する第1の工程と、

前記第1の工程で形成した活性層の、前記電界吸収型光変調器の活性層の領域に対応する部分を削除して前記半導体レーザの活性層とする第2の工程と、

前記第2の工程で削除された領域に、前記電界吸収型光変調器の活性層として、前記第1のバンドギャップとは異なる第2のバンドギャップを有する活性層を成長する第3の工程を含む変調器集積化光源の製造方法。

## 補正書の請求の範囲

[2005年7月29日(29.07.2005)国際事務局受理：出願当初の請求の範囲1、3、4、6、8及び10は補正された；出願当初の請求の範囲2は取り下げられた；他の請求の範囲は変更なし。(2頁)]

- [1] (補正後) 半導体レーザおよび電界吸収型光変調器が高抵抗半導体基板上に集積されてなる変調器集積化光源であって、

前記電界吸収型光変調器は、前記高抵抗半導体基板の一方の面側に配置された、所定のバイアス電圧が印加される1対の電極を有しており、当該電界吸収型光変調器の長さをL、動作周波数をBとするとき、

$$L \times B \geq 2000 \mu\text{m} \cdot \text{Gb/s}$$

の条件を満たし、前記電界吸収型光変調器の吸収ピーク波長が前記半導体レーザの発振波長より短く、室温において、前記発振波長と前記吸収ピーク波長の差であるデチューニング量のエネルギー換算値 $\Delta X$ が、

$$40\text{meV} \leq \Delta X \leq 100\text{meV}$$

の条件を満たすように構成されている変調器集積化光源。

- [2] (削除)

- [3] (補正後) 最低動作温度において印加される前記所定のバイアス電圧が1V以下である、請求項1に記載の変調器集積化光源。

- [4] (補正後) 前記1対の電極がP型電極とN型電極であり、前記P型電極が進行波電極である、請求項1に記載の変調器集積化光源。

- [5] 前記電界吸収型光変調器の活性層はアンドープ層を有し、該アンドープ層の厚さが、前記半導体レーザからの発振光の進行方向に向かって徐々に薄くなっている、請求項4に記載の変調器集積化光源。

- [6] (補正後) 前記半導体レーザおよび電界吸収型光変調器の活性層が、半導体または誘電体による埋め込み層よりなる、請求項1に記載の変調器集積化光源。

- [7] 前記埋め込み層がアンドープ層である、請求項6に記載の変調器集積化光源。

- [8] (補正後) 前記半導体レーザの活性層の量子井戸と前記電界吸収型光変調器の活性層の量子井戸がバットジョイント結合されている、請求項1に記載の変調器集積化光源。

- [9] 前記電界吸収型光変調器の量子井戸は、井戸の導電帯のエネルギーレベルがバリアの導電帯のエネルギーレベルよりも高く、かつ、井戸の価電子帯のエネルギーレ

ベルがバリアの価電子帯のエネルギーレベルよりも高い構造である、請求項8に記載の変調器集積化光源。

[10] (補正後) 前記電界吸収型光変調器の活性層の組成にアルミニウムを含む、請求項1に記載の変調器集積化光源。

[11] 半導体レーザおよび電界吸収型光変調器が高抵抗半導体基板上に集積されてなる変調器集積化光源の製造方法であって、

前記半導体レーザおよび電界吸収型光変調器の活性層を含む領域に第1のバンドギャップを有する活性層を成長する第1の工程と、

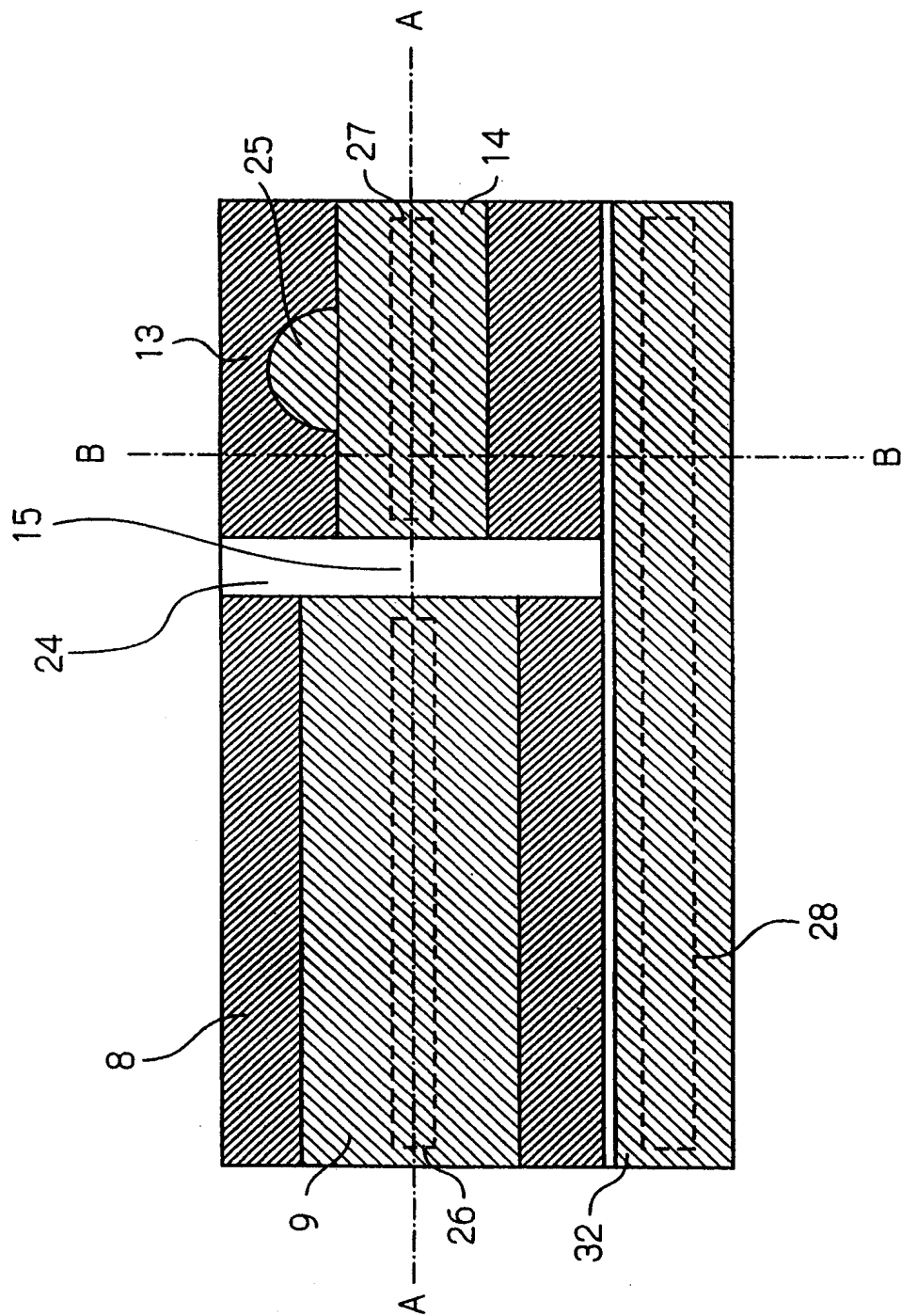
前記第1の工程で形成した活性層の、前記電界吸収型光変調器の活性層の領域に対応する部分を削除して前記半導体レーザの活性層とする第2の工程と、

前記第2の工程で削除された領域に、前記電界吸収型光変調器の活性層として、前記第1のバンドギャップとは異なる第2のバンドギャップを有する活性層を成長する第3の工程を含む変調器集積化光源の製造方法。

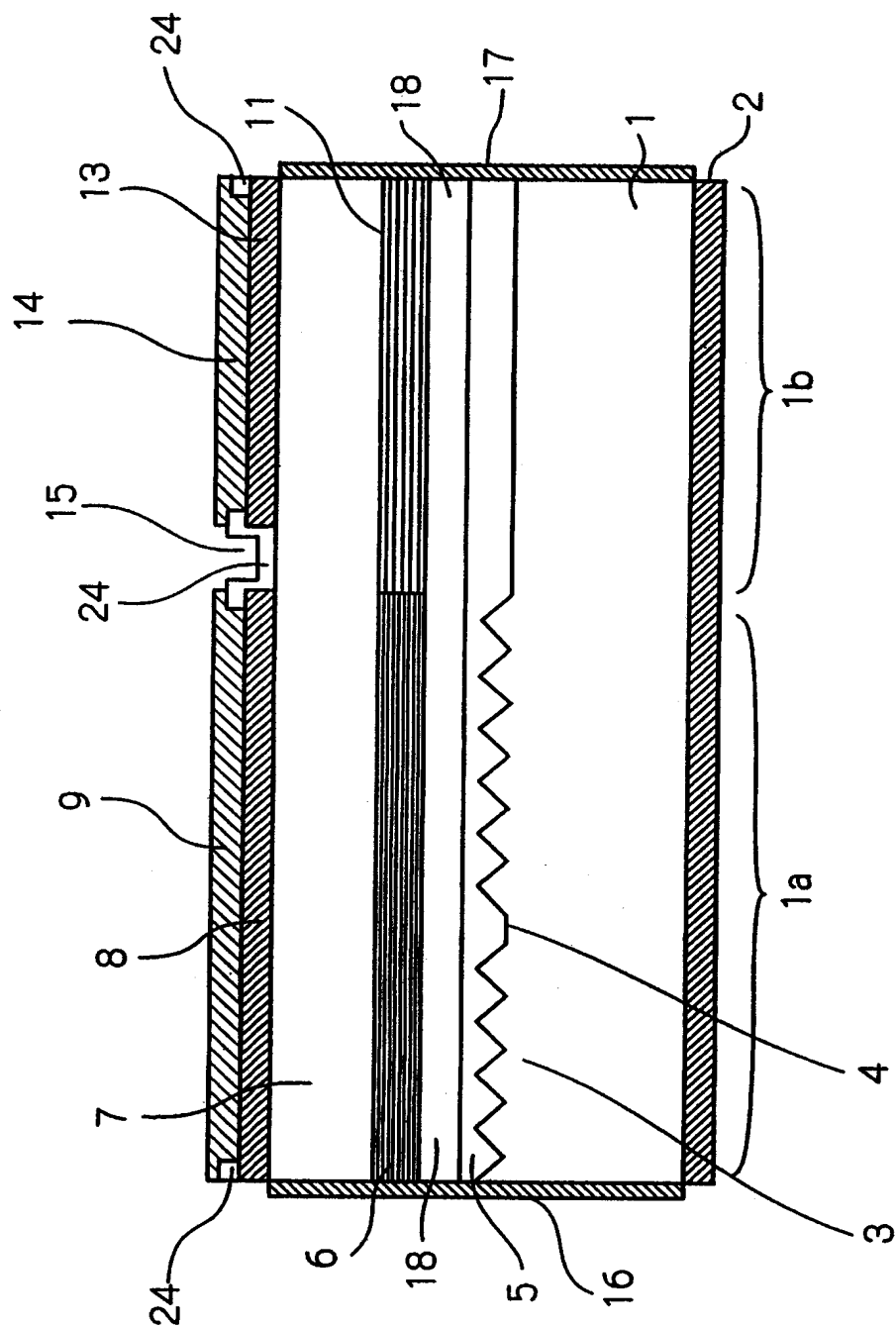




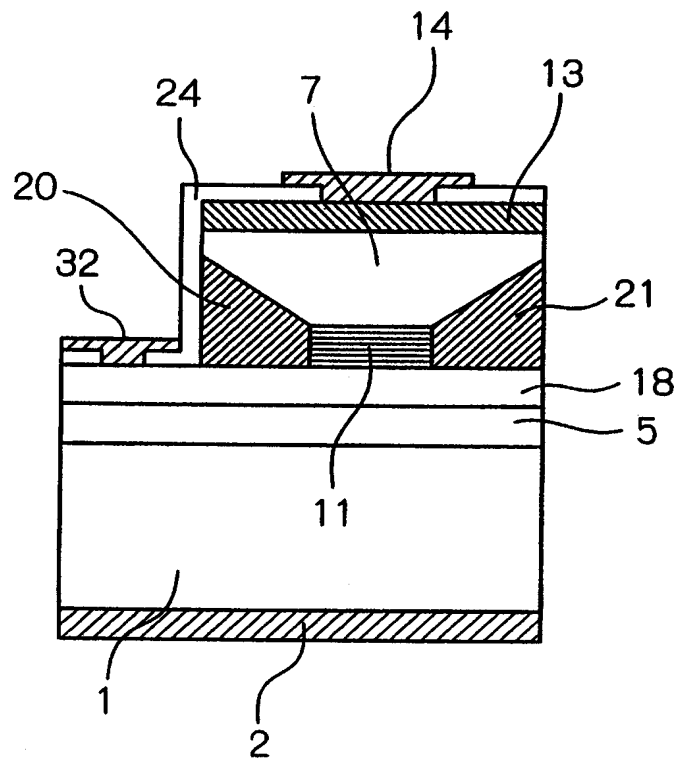
[図2A]



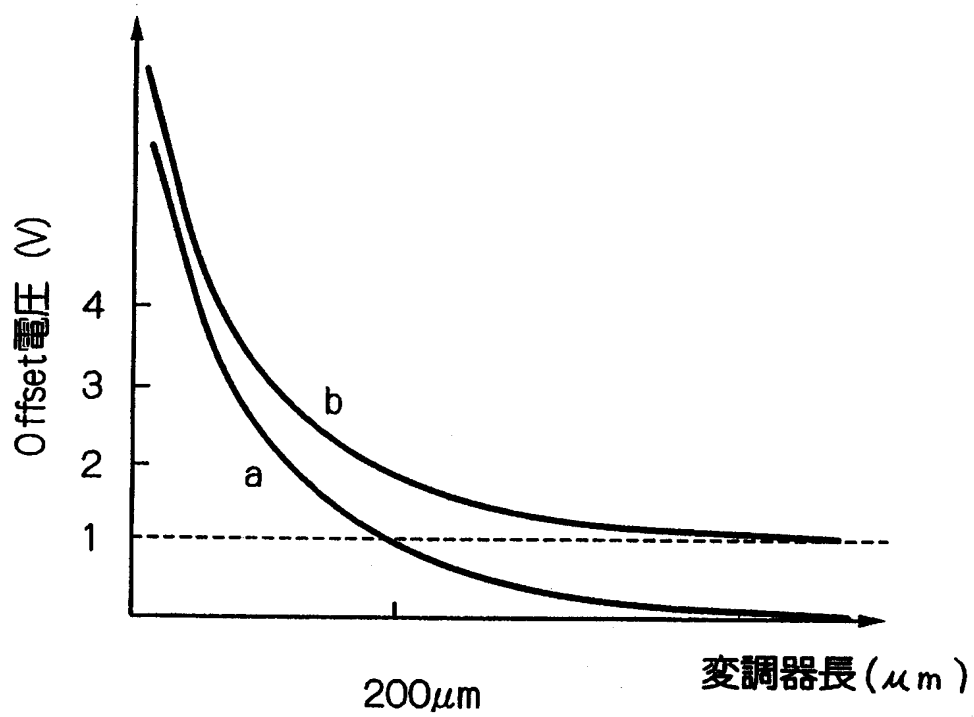
[図2B]



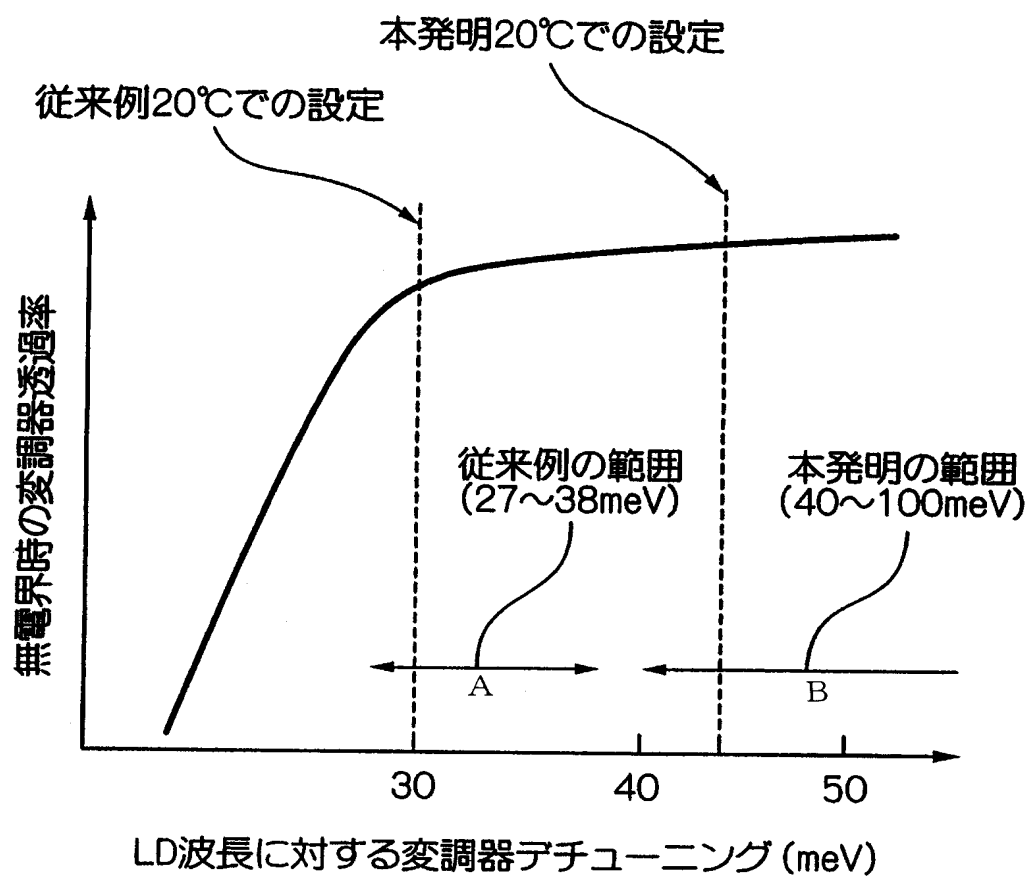
[図2C]



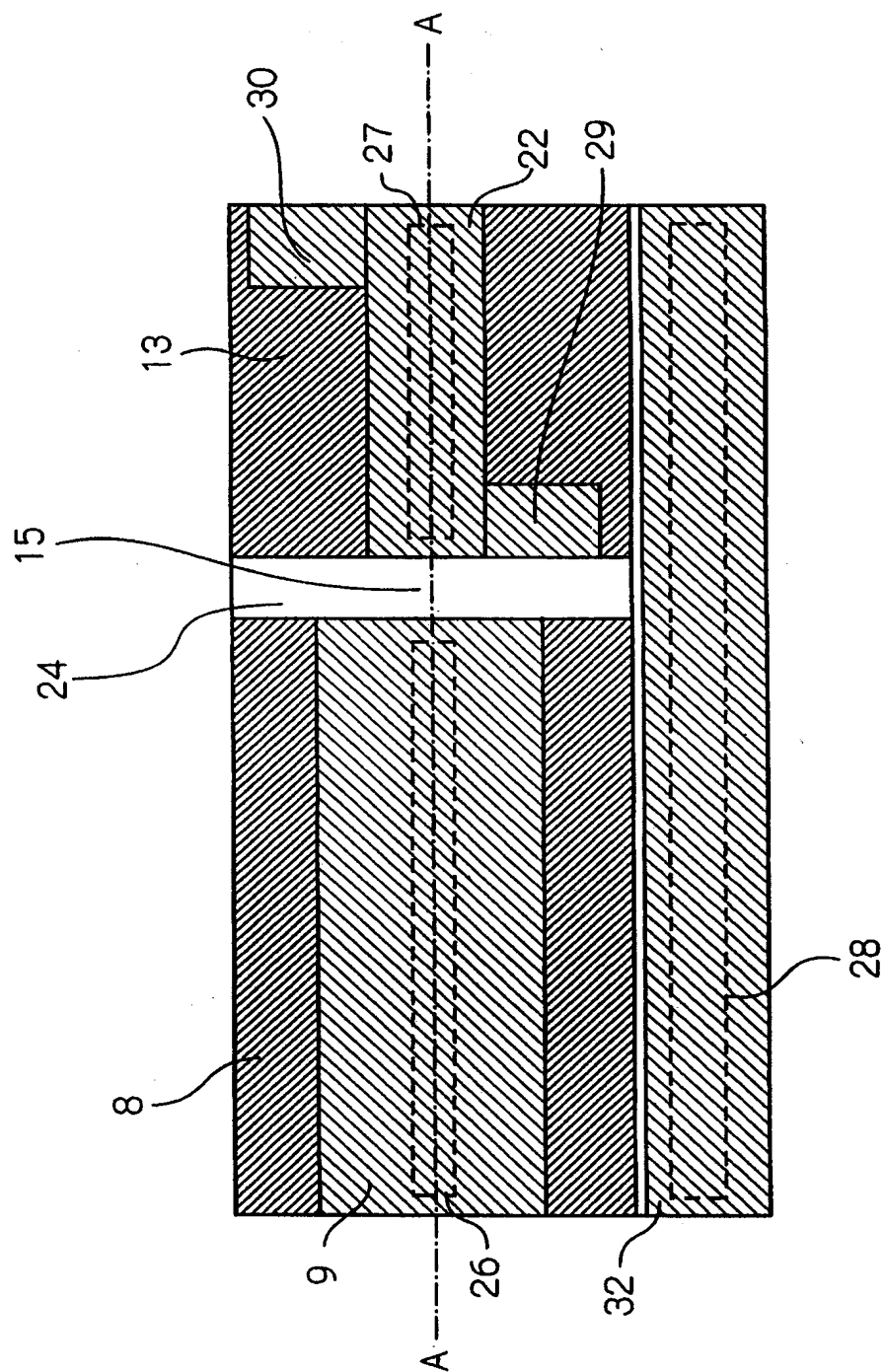
[図3]



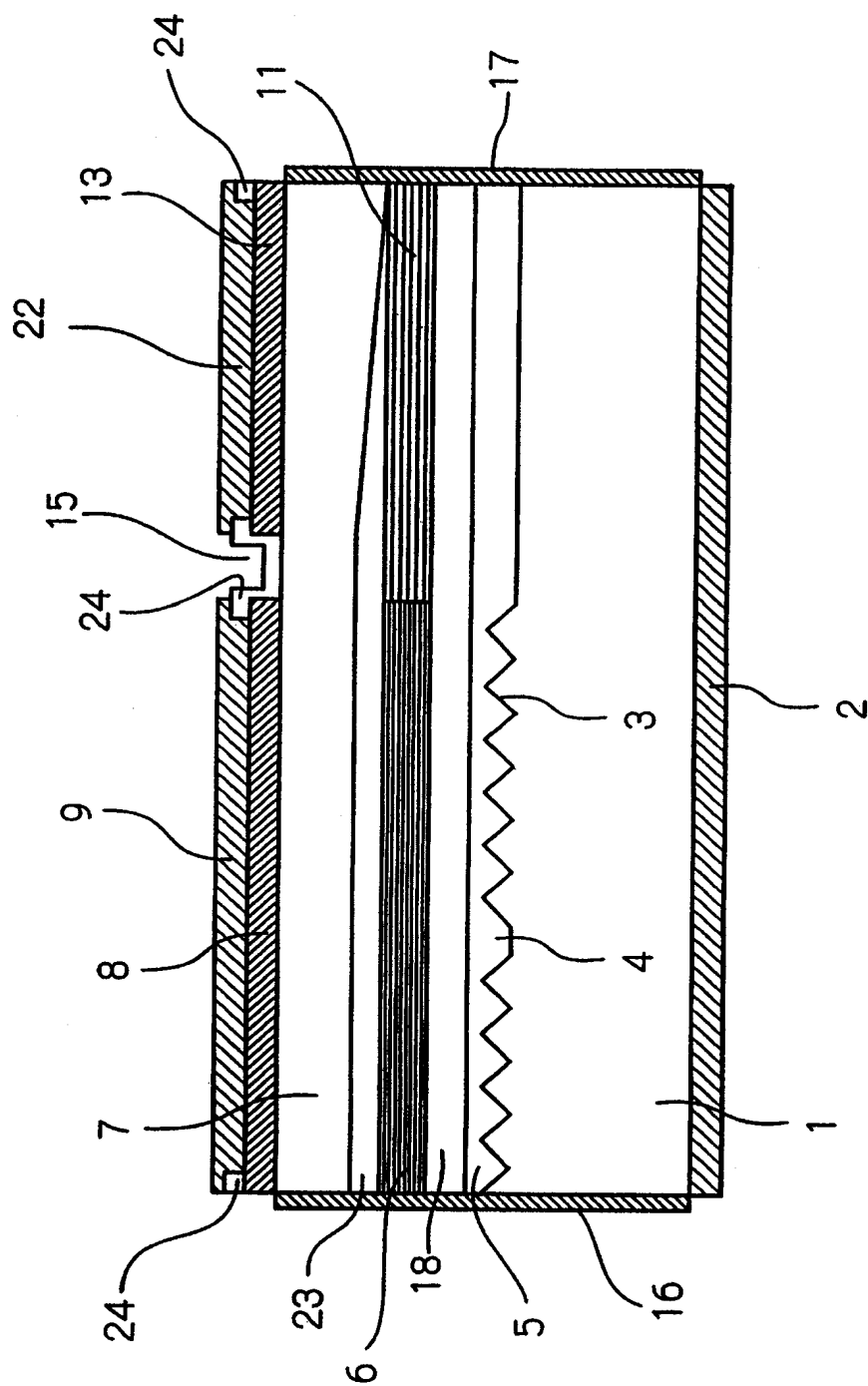
[図4]



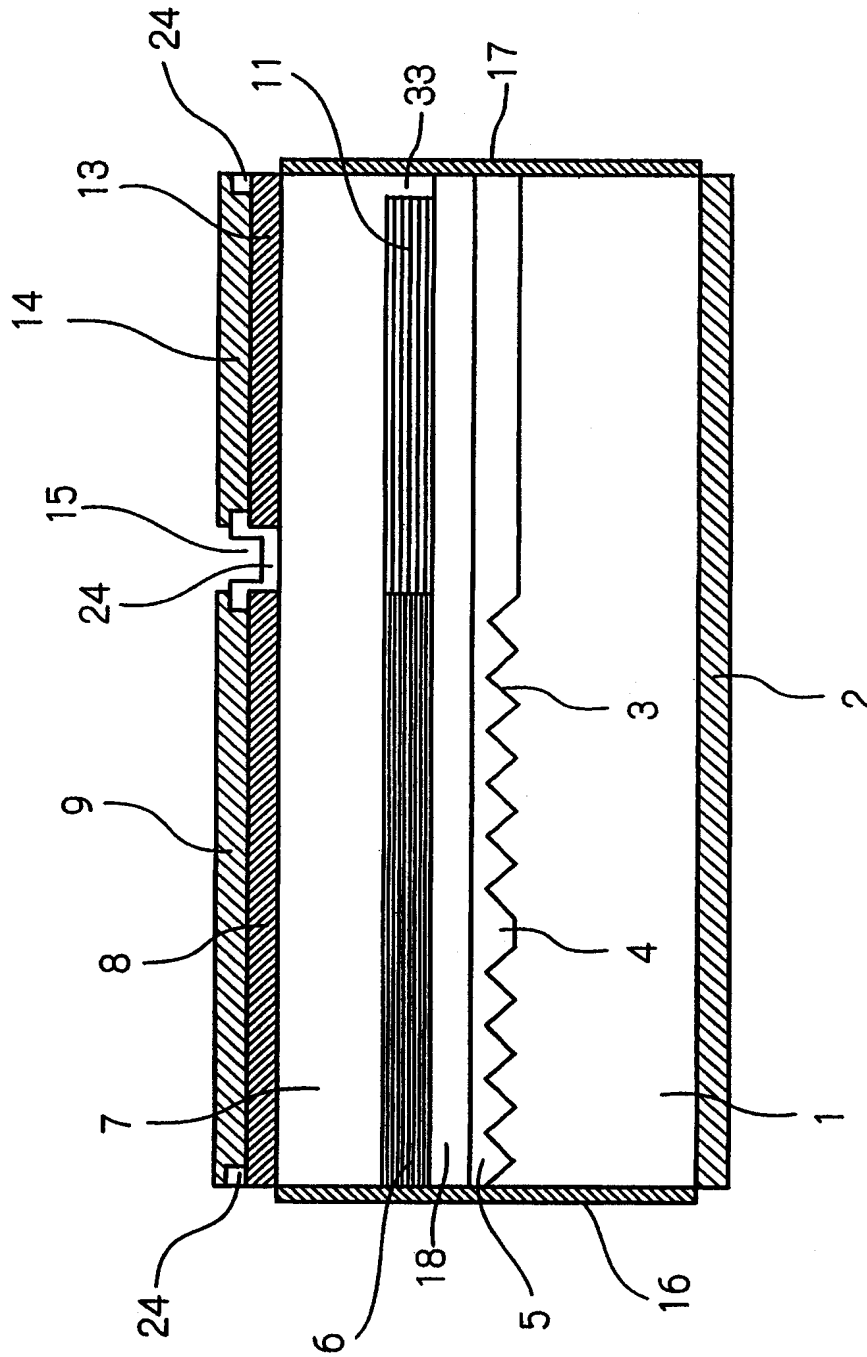
[図5A]



[図5B]



[図6]





# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/002318

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
Int.Cl<sup>7</sup> G02F1/017, H01S5/026

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
Int.Cl<sup>7</sup> G02F1/017, H01S5/026

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2005  
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2005 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)  
INSPEC (DIALOG), IEEE, JSTPlus (JOIS)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	M. TAMURA et al., Ultrafast electroabsorption modulators with traveling-wave electrodes,	1, 4, 6, 7, 8,
Y	LEOS 2001, Vol.1, pages 97 to 98	10, 11 2, 5, 9
X	JP 9-133902 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.),	1, 6, 7, 10
Y	20 May, 1997 (20.05.97), (Family: none)	2, 9
X	Milind R. Gokhale et al., Uncooled, 10Gb/s	11
Y	1310nm Electroabsorption Modulated Laser,	2
A	OFC 2003, Vol.3, PD42	3



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search  
13 May, 2005 (13.05.05)

Date of mailing of the international search report  
31 May, 2005 (31.05.05)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2005/002318

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	Koji YAMADA et al., "InGaAsP Denkaï Kyushugata	11
Y	Hikari Henchoki Tsuki DFB laser", The Institute	2
A	of Electronics, Information and Communication	3
	Engineers Gijutsu Kenkyu Hokoku, Vol.94, No.115,	
	(1994), pages 49 to 54	
Y	JP 2001-24289 A (Nippon Telegraph And	5
	Telephone Corp.),	
	26 January, 2001 (26.01.01),	
	(Family: none)	
Y	JP 07-218880 A (Nippon Telegraph And Telephone	9
	Corp.),	
	18 August, 1995 (18.08.95),	
	(Family: none)	

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2005/002318

**Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)**

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
  
2. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
  
3. ☐ Claims Nos.:  
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

**Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)**

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

The technical feature common to the inventions of claims 1-10 is disclosed in, for example, documents 1, 2 cited in this international search report, and cannot be a special technical feature defining contribution over the prior art. The inventions of claims 2, 3 relate to setting of detuning amount, the invention of claim 5 relates to designing of the thickness of an undoped layer of an active layer, and the invention of claim 9 relates to use of a quantum well of type II. Claim 11 defines a general method of manufacturing a modulator-integrated light source not limited by the features of claims 1-10.

Therefore, the claims of this application (continued to extra sheet)

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☒ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
  
4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

**Remark on Protest**

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/002318

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet(2)

cannot be considered to define any inventions so linked as to form a single general inventive concept.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. <sup>7</sup> G02F1/017, H01S5/026			
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. <sup>7</sup> G02F1/017, H01S5/026			
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2005年 日本国実用新案登録公報 1996-2005年 日本国登録実用新案公報 1994-2005年			
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語) INSPEC(DIALOG), IEEE, JSTPlus(JOIS)			
C. 関連すると認められる文献			
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号	
X	Tamura, M. et al. Ultrafast electroabsorption modulators with traveling-wave electrodes, LEOS 2001, Vol. 1, p. 97-98	1, 4, 6, 7, 8, 10, 11	
Y		2, 5, 9	
X	JP 9-133902 A (日本電信電話株式会社) 1997. 05. 20 (ファミリーなし)	1, 6, 7, 10	
Y		2, 9	
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。			
* 引用文献のカテゴリー 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」同一パテントファミリー文献			
国際調査を完了した日 13. 05. 2005		国際調査報告の発送日 31. 5. 2005	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官 (権限のある職員) 佐藤 宙子 電話番号 03-3581-1101 内線 3294	2X 9316

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	Milind R. Gokhale et al. Uncooled, 10Gb/s 1310nm	11
Y	Electroabsorption Modulated Laser, OFC 2003, Vol. 3, PD42	2
A		3
X	山田光志 他 3 名 I n G a A s P 電界吸収型光変調器付き D F B	11
Y	レーザ, 電子情報通信学会技術研究報告,	2
A	Vol. 94, No, 115, (1994)p. 49-54	3
Y	JP 2001-24289 A (日本電信電話株式会社) 2001.01.26 (ファミリー なし)	5
Y	JP 07-218880 A (日本電信電話株式会社) 1995.08.18 (ファミリー なし)	9

## 第Ⅱ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（PCT17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、この国際調査機関が調査することを要しない対象に係るものである。つまり、
2. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

## 第Ⅲ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

まず、請求の範囲1-10に記載の発明に共通する技術的事項については、国際調査報告で引用された文献1, 2等において既に開示されており、先行技術に対して貢献をもたらす特別な技術的特徴とはなり得ない。その上で、請求の範囲2, 3に記載の発明はデチューニング量の設定に関わり、請求の範囲5に記載の発明は、活性層のアンドープ層の厚さの設計に関わり、そして、請求の範囲9における発明は、量子井戸としてタイプⅡのものを用いたことに関わる。また、請求の範囲11には、請求の範囲1-10に記載の構成に何ら限定されない変調器集積化光源一般の製造方法が記載されている。

以上より、本願請求の範囲においては、単一の一般的発明概念を形成するように連関している発明群が記載されているとは認められない。

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. ☒ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

## 追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあった。  
☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかった。